

8. Воронов Г.В., Гольцев В.А., Глухов И.В. Аэродинамика и тепловое состояние современной дуговой сталеплавильной печи // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2016. № 1. С. 28-34.

9. Кочнов М.Ю., Шульц Л.А., Кочнов Ю.М. Повышение эффективности дожига и охлаждения технологических газов крупнотоннажных дуговых сталеплавильных печей // Изв. вузов. Черная металлургия. 2009. № 11. С. 49-55.

10. Арсентьев П.П., Яковлев В.В., Комаров С.В. Конвертерный процесс с комбинированным дутьем. – М.: Металлургия, 1991. – 185 с.

11. Ибадуллаев Т.Б. Разработка и совершенствование технологии дожига в металлургических печах на основе математического моделирования с целью снижения вредных выбросов и энергозатрат. Автореферат. Москва – 2007.

12. Черменев Е.А., Меркер Е.Е., Коберник О.П. Об эффективности электроплавки стали при загрузке металлизированного сырья через трубчатые электроды в ванну дуговой печи // Бюллетень «Черная металлургия». 2013. № 5. С. 48-51.

УДК 669.5

А. В. Плешкова, Г. В. Воронов

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ВЕЛЬЦ-ПЕЧИ

Аннотация

В статье рассмотрена проблема утилизации отходов гидрометаллургического цикла. Приведены способы получения и востребованность окиси цинка. Рассмотрены особенности процесса вельцевания. Охарактеризованы технологические зоны вельц-печи: зона сушки и подогрева шихты, зона восстановления сульфатов, зона возгонки цинка, зона формирования клинкера. Рассмотрены конструктивные зоны печи: холодная и горячая зоны. Представлен материальный баланс вельц-процесса. Определены основные размеры печи, в том числе длины рассмотренных технологических зон, из условий регламентированной скорости движения газового потока внутри барабана печи, полноты удаления свободной и связанной влаги обрабатываемого материала, полноты протекания физико-химических преобразований. Для исследования тепловой работы вельц-печи выполнен тепловой баланс. Из расчета теплового баланса проанализирована тепловая работа при трех различных вариантах футеровки.

Ключевые слова: вельц-печь, шихта, цинковый кек, клинкер, вельц-окись, материальный баланс, тепловой баланс, технологические зоны.

Abstract

The article explores hydrometallurgical waste utilization problem. Production methods and importance of zinc oxide are presented along with general information and Waelz kiln structures. The technological zones of the waelz furnace are characterized: the drying and heating zone of the charge, the sulfate reduction zone, the zinc sublimation zone, the waelz slag forming zone. The design zones of the furnace are considered: cold and hot zones. Then general charging material preparation principles are defined, waelz process characteristics and actions to get final products (waelz oxide and waelz slag) are described. Finally, waelz kiln heat and mass balances are presented along with

measures based on them aimed at thermal performance improvement, increase in efficiency and quality of final products. The thermal work is analyzed and the lengths of the technological zones of the waelz furnace are calculated.

Key words: waelz kiln, charging material, zinc cake, waelz slag, waelz oxide, mass balance, heat balance, technological zones.

Оксид цинка (ZnO) нашел применение во многих промышленности. Получают данное соединение несколькими способами: термическим разложением ацетата, гидроксида, карбоната и нитрата цинка, окислительным обжигом сульфида цинка в печах кипящего слоя, вельцевание соединений цинка во вращающихся печах.

В настоящее время один из основных способов получения данного соединения – процесс вельцевания во вращающихся трубчатых печах – решает актуальную задачу: утилизация отходов гидрометаллургического цикла.

Цинкосодержащие материалы обрабатывают при температуре в реакционной зоне $1100\text{--}1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ в присутствии твердого восстановителя при постоянном перемешивании [1]. Процесс вельцевания характеризуется восстановительной атмосферой в слое шихты и окислительной в газовой фазе печи [2].

В печи реализуется принцип противотока – газы отводятся через верхнюю (холодную) головку печи, через которую в печь загружают шихтовые материалы (рис. 1). Нагрев реакционной массы осуществляют с помощью газовой горелки, расположенной в нижней (горячей) головке печи.

По мнению большинства авторов [2, 3], вельц-печь можно условно разделить на четыре технологические зоны по длине печи.

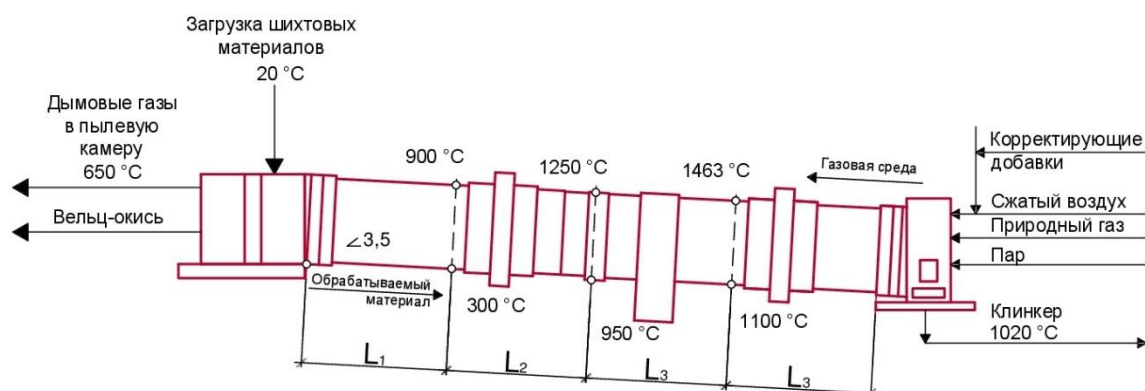


Рис. 1. Схема вельц-печи с разделением на технологические зоны

Зона сушки и подогрева шихты – располагается на длине $\sim 12\text{--}15$ метров (L_1) от загрузочного конца вельц-печи [2]. В этой зоне удаляется свободная и связанная влага, обрабатываемый материал (реакционная масса) нагревается от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура газов, поступающих в зону, составляет $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, отходящих газов перед пылевой камерой – $650\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Зона восстановления сульфатов – располагается от ~ 15 -го до ~ 30 -го метра (L_2) длины печи [2]. По сравнению с резким возрастанием температуры обрабатываемого материала (с $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$), температура газовой среды

незначительно уменьшается (с 1250 до 950 °С). В этой зоне разлагается большая часть сульфатов, начинает возгоняться цинк и улетучивается кадмий, начинается горение коксика [2].

Зона возгонки цинка – располагается от ~30-го до ~40-го метра (L_3) длины печи [2]. В этой зоне интенсивно развиваются процессы восстановления оксида цинка, температура газовой среды достигает 1463 °С, обрабатываемого материала – 1100 °С. Наиболее интенсивно возгонка цинка происходит в зоне наибольших температур.

Зона формирования клинкера (клинкeroобразования) – располагается на ~40–62 метре (L_4) от загрузочного конца вельц-печи [2]. В зоне клинкeroобразования возгоночные процессы постепенно прекращаются, здесь идет преимущественно восстановление соединений железа.

Кроме теплообменных процессов вельц-печь, а соответственно и отдельные ее зоны, должны обеспечивать полноту протекания всех физико-химических преобразований в обрабатываемых материалах. Следовательно, условное деление зон определяется температурой начала и завершения протекающих в вельц-печи реакций.

На основе известного химического состава природного газа выполнен расчет горения топлива при стехиометрическом соотношении и рассчитаны показатели при действительном горении топлива: расход влажного воздуха, обеспечивающий полное сжигание природного газа; количество и состав продуктов сгорания; балансовая температура горения (температура газовой среды при входе в зону возгонки цинка $t_{\alpha}^6 = 1463$ °С).

На основе исходного химического состава шихтовых материалов выполнен расчет материального баланса для каждой зоны печи. Полученные данные сведены в общий материальный баланс по печи, представленный в таблице 1.

Невязка $\Delta=0,02$ %, что составляет 12,94 кг/ч.

Выполнен расчет основных размеров вельц-печи, из которого следует:

- внутренний диаметр $D_{\text{вн}} = 3,28$ м, рассчитанный исходя из регламентированной скорости движения газов [2, 3], равной 7 м/с;
- наружный диаметр $D_{\text{нар}} = 3,89$ м с учетом теплоизоляционного, огнеупорного слоев и кожуха;
- общая (суммарная) длина вельц-печи $L = 62,49$ м, состоящая из:
 - длины зоны сушки и подогрева шихты $L_1 = 14,48$ м, рассчитанной из условия полноты удаления свободной и связанной влаги;
 - длины зоны восстановления сульфатов $L_2 = 12,65$ м, – из условия полноты протекания физико-химических преобразований;
 - длины зоны возгонки цинка $L_3 = 18,78$ м, – из условия полноты протекания физико-химических преобразований;
 - длины зоны формирования клинкера $L_4 = 16,58$ м, – из условия полноты протекания физико-химических преобразований.

Для исследования тепловой работы вельц-печи выполнен тепловой баланс, представленный в таблице 2.

Таблица 1

Материальный баланс вельц-печи

Приход			Расход		
Наименование статьи	Размерность		Наименование статьи	Размерность	
	кг/ч	%		кг/ч	%
Цинковый кек	12 333,33	15,28	Вельц-окись	3 904,17	4,84
Коксовая мелочь	3 316,67	4,11	Клинкер	9 445,83	11,70
Вода шихты:	4 883,34	6,05	Дымовые газы	60 854,85	75,40
– цинкового кека	4 516,67	5,60	Запыленность газов	6 500,80	8,05
– коксовой мелочи	366,67	0,45			
Вторичная коксовая мелочь	2 195,83	2,72			
Известь-пыленка	400,00	0,50			
Хлоринаторы:	1 040,00	1,29			
– цинковый дроссы	520,00	0,64			
– хлорид натрия	30,00	0,04			
Пар	3 000,00	3,72			
Возврат	937,50	1,16			
Природный газ	729,00	0,90			
Воздух	51 857,05	64,26			
– компрессорный воздух	10 371,41	12,85			
– вентиляторный воздух	41 485,64	51,39			
Итого	80 692,72	100,00	Итого	80 705,65	100,00

Таблица 2

Тепловой баланс вельц-печи

Приход			Расход		
Наименование статьи	Размерность		Наименование статьи	Размерность	
	кВт	%		кВт	%
1) Химическая теплота топлива (природного газа)	9 855,96	28,81	1) Затраченная теплота на технологический процесс:	7 404,43	43,77
			– удаление H ₂ O	259,16	1,54
			– нагрев реакционной массы	518,31	3,07
			– эндотермические реакции	6626,96	39,16
2) Физическая теплота топлива (природного газа)	12,07	0,07	2) Потери с уходящими газами	3 670,94	21,70
3) Физическая теплота окислителя	69,93	0,42	3) Потери с пылью	1 520,56	8,99
4) Физическая теплота шихтовых материалов	178,70	1,07	4) Потери с химическим недожогом	98,56	0,58
5) Физическая теплота пара	441,27	2,63	5) Потери с механическим недожогом (углерод клинкера)	2 037,79	12,05

Приход			Расход		
Наименование статьи	Размерность		Наименование статьи	Размерность	
	кВт	%		кВт	%
6) Физическая теплота воздуха, подаваемого на процесс	223,71	1,33	6) Потери в окружающее пространство	2 184,86	12,92
7) Теплота экзотермических реакций	5 977,11	65,67			
Итого	16 758,74	100	Итого	16 917,13	100

Невязка $\Delta=0,95\%$, что составляет 158,39 кВт.

Приходная часть теплового баланса включает статьи: химическая теплота топлива (природного газа); физическая теплота топлива (природного газа); физическая теплота окислителя; физическая теплота шихтовых материалов; физическая теплота пара; физическая теплота воздуха, подаваемого на процесс; теплота экзотермических реакций.

Одна из основных статей прихода – теплота экзотермических реакций – в большей части состоит из тепла, поступающего от окисления углерод содержащего материала (коксовая мелочь и вторичная коксовая мелочь).

Расходная часть теплового баланса представляет собой: затраченную теплоту на технологический процесс (удаление H_2O , нагрев реакционной массы, эндотермические реакции); потери с уходящими газами, с механическим недожогом кокса и в окружающее пространство теплопроводностью через кладку печи и излучением при выгрузке клинкера.

Тепло отходящих газов, что составляет ~ 22 %, используют в котле-утилизаторе для получения пара промышленных параметров, который в свою очередь вдувается в нижнюю (горячую) головку вельц-печи для регулирования и интенсификации процесса, а также расходуется на нужды завода.

Высокий процент механического недожога ~ 12 % объясняется тем, что несмотря на идеальные условия в вельц-печи (высокая и постоянно обновляющаяся поверхность контакта реагирующих веществ), восстановление оксидов металлов углеродом ограничено в связи со слабой взаимной диффузией твердых веществ.

Потери теплоты в окружающее пространство ~ 13 %, из которых значительная часть теплопроводностью ~ 85 %, сокращаются заменой футеровки. Рассчитан тепловой баланс для трех вариантов футеровочных материалов.

В первоначальном варианте холодная зона печи, что составляет ~ 25 м, футеруется шамотным ШЦУ слоем, а горячая – ~35 м – состоит из огнеупорного периклазохромитового (ПХСУ) и теплоизоляционного шамотного (ШЦУ) слоев.

Для улучшения тепловой работы необходимо использовать материалы, имеющие более низкий коэффициент теплопроводности – хромитопериклазовый термостойкий огнеупор (ХПТ) и муллитокремнеземистый огнеупорный войлок (МКРВ), – которые позволяют в год экономить ~2 000 000 руб/год.

Список использованных источников

1. Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник для вузов / С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, А.П. Дорошкевич, В.П. Жуков, Е.И. Елисеев, С.В. Карелов, А.Б. Лебедь, С.В. Мамяченков. – Екатеринбург: УГТУ, 1997. – 648 с.
2. Вельц-процесс / П.А. Козлов. – М.: ИД «Руда и металлы», 2002. – 176 с.
3. Переработка цинковых кеков: теплотехнический расчет / В.И. Карлов. – Владикавказ: СКГТУ, 2002. – 82 с.
4. Вельцевание цинк-свинецсодержащих материалов / М.А. Абдеев, А.В. Колесников, Н.Н. Ушаков. – М.: Металлургия, 1985. – 120 с.
5. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: справочное издание: В 2-х книгах. Книга 1. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплотехник, 2004. – 688 с.
6. Основные свойства неорганических и органических соединений. Справочник химика / Б.П. Никольский, О.Н. Григоров, М.Е. Позин. – М.: «Химия», 1971. – 585 с.
7. Akawasi A. Boateng Rotary kilns / Transport phenomena and transport processes / compiled by A. K. Boateng – Amsterdam: «ELSEVIER», 2008. – 369 p.
8. Кривандин В.А. Теплотехника металлургического производства / В.В. Белоусов, Г.С. Сборщиков. – М.: МИСИС, 2001. – 736 с.

УДК62–533.65

Е. В. Приходько, А. К. Кинжибекова, Н. М. Арипова

Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова,
г. Павлодар, Казахстан

АНАЛИЗ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТАНОВОК ЗА СЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Аннотация

В статье приводится описание расчётов для снижения температуры технологических газов до проектных значений с целью исключения случаев термического повреждения рукавов и остановок фильтров при работе рудотермических печей ферросплавного производства. Анализируемые методы: присос внешней среды (атмосферного воздуха), тонкий распыл воды в газоход и установка конвективного поверхностного охладителя. Полученные результаты и практика эксплуатации фильтров позволяет сделать вывод о том, что рассматриваемая методика даёт более точные значения.

Ключевые слова: дуговьерудотермические печи, рукавные фильтры, инертность, дымосос, газозоодушная смесь.

Abstract

The article describes the calculations to reduce the temperature of process gases to the design values in order to exclude the cases of thermal damage to hoses and filter stops during the operation